

Incidents en transport aérien

Sorties longitudinales de pistes à l'atterrissage

N° 6
Juin 2007

Les performances à l'atterrissage apparaissent rarement comme une limitation, hormis sur des pistes courtes ou sur des pistes dont la contamination est connue. Les limitations à l'atterrissage prévues par la réglementation incluent des marges importantes qui prennent en compte de nombreuses variables opérationnelles. Il suffit cependant de cumuler plusieurs facteurs défavorables pour que ces marges disparaissent. C'est ce qui est illustré ici par l'analyse de quelques événements.

Sur une piste en travaux

Déroulement du vol

L'équipage effectue sa première étape de la journée sur un avion biréacteur à destination de Tarbes - Lourdes.

Préparation du vol

Les NOTAM indiquent qu'en raison de travaux sur la piste, les décollages en piste 20 sont interdits pour les avions de catégorie C et D(1) et que l'ILS 20 est hors service. La longueur d'atterrissage utilisable (LDA) est réduite à 1 740 mètres sur les 3 000 mètres normalement disponibles. Le dossier de vol précise que cette longueur de piste n'a pas d'impact sur la charge offerte sur piste sèche. En revanche, la masse à l'atterrissage sur piste mouillée est limitée à 28 240 kg.
Les informations météorologiques laissent supposer que la piste à destination sera sèche. La masse estimée à l'atterrissage d'après l'état de charge est de 28 600 kg(2).

Arrivée

En fin de croisière, le commandant de bord, PNF, écoute l'ATIS qui ne fait pas état de précipitations et reprend les informations des NOTAM. Il contacte ensuite le personnel de l'escale qui mentionne la diminution de la longueur de piste utilisable et la présence de quelques gouttes de pluie. Il ne rappelle pas la restriction de longueur de piste lorsqu'il transmet ces informations au copilote. Celui-ci effectue ensuite le briefing arrivée pour une procédure VOR/NDB en piste 20 ; il n'évoque pas les NOTAM et leurs implications.
L'équipage discute des limitations associées au décollage en piste 02 en prévision de l'étape suivante.

Atterrissage

A environ 3 NM en finale, en vue de l'aérodrome, les pilotes s'interrogent sur la présence d'une marque blanche en travers de la piste. Le contrôleur autorise l'atterrissage en précisant que la piste est mouillée. Le train principal touche à environ 800 mètres du seuil. Les inverseurs de poussée sont utilisés dès le toucher du train avant. Le copilote est alors surpris de voir le chantier en activité. A la demande du commandant de bord qui se préoccupe de l'absence d'actions sur les freins, il débute le freinage. Cette action a lieu neuf secondes après le toucher du train avant, à 115 mètres de la fin provisoire de la piste et à une vitesse de 80 nœuds. Le commandant de bord freine également. L'avion atteint la zone des travaux, roule sur deux lampes du balisage lumineux et dépasse l'extrémité provisoire de piste de 130 mètres. Trois des quatre pneus du train principal présentent des entailles.

Renseignements complémentaires

Dossier de vol

Le dossier de vol ne donne aucune information de distance d'atterrissage et de décollage. Seules les limitations piste sèche et mouillée sont pré-calculées en masse en fonction des prévisions au moment de l'arrivée. Il appartient le cas échéant à l'équipage de vérifier les distances correspondantes dans le manuel de vol.

Limitations piste

Compte tenu des critères de l'OPS1 (voir l'encadré page 8), la longueur d'arrêt maximale à prendre en compte en présence des travaux était de 1 044 mètres pour une piste sèche et de 907 mètres pour une piste mouillée.
La distance théorique d'atterrissage donnée par le manuel de vol dans les conditions prévues du jour était de 1 006 mètres(3).

Travaux sur la piste

Les véhicules de chantier se trouvaient à 1 000 mètres au-delà de l'extrémité provisoire de la piste 20. Ils ne devaient pas approcher à moins de 600 mètres de cette extrémité afin de préserver une marge en cas de remise des gaz.

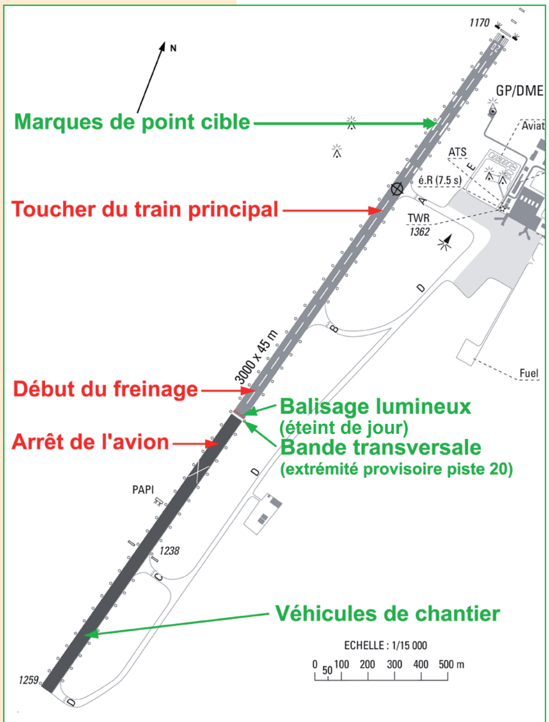
(1) *Avions dont la Vref à la masse maximale est comprise entre 121 et 165 nœuds.*

(2) *L'avion transportait du carburant supplémentaire en prévision du vol retour.*

(3) *Dans le cas d'une piste non contaminée, le calcul de la distance d'atterrissage ne tient pas compte de l'utilisation des inverseurs de poussée.*

BEA
Bureau d'Enquêtes et d'Analyses
pour la sécurité de l'aviation civile

Zone Sud
Bâtiment 153
200 rue de Paris
Aéroport du Bourget
93352 Le Bourget Cedex
FRANCE
Tél. : +33 1 49 92 72 00
Fax : +33 1 49 92 72 03
incidents@bea.aero



Emplacement des travaux

La portion de piste sur laquelle a eu lieu l'atterrissage avait été goudronnée quelques jours auparavant. Dans ces conditions, des hydrocarbures peuvent remonter à la surface pendant plusieurs jours. L'efficacité du freinage peut s'en trouver affectée. Aucun équipage ayant réalisé les vols précédents n'avait toutefois mentionné de problème de freinage particulier.

Balisage de la piste

Le seuil de piste, déplacé provisoirement, était matérialisé par une bande transversale blanche et par un balisage lumineux, éteint de jour. Une croix blanche au sol matérialisait la zone fermée.

Les deux pilotes n'ont pas réalisé que la bande transversale qu'ils ont vue lors de l'approche finale matérialisait l'extrémité de la piste.



Bande transversale à l'extrémité provisoire de la piste 20, sans marques de seuil 02

Marques de point cible

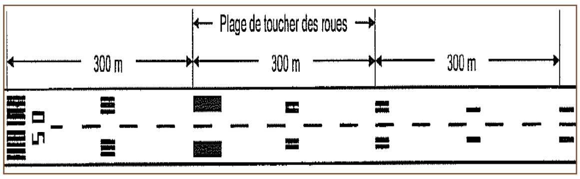
A Tarbes, les marques de point cible sont situées à 400 mètres du seuil 20.

Réglementairement, en l'absence d'indicateur visuel de pente, elles doivent être à 300 mètres du seuil de piste pour les pistes dont la longueur est comprise entre1 200 et 2 400 mètres et à 400 mètres du seuil pour les pistes de plus de 2 400 mètres. Les marques de point cible correspondent au point d'aboutissement visuel de la trajectoire finale.

Manuel d'exploitation

Le manuel d'exploitation précise que le briefing arrivée doit décrire principalement les procédures d'approche et de remise de gaz et qu'un rappel des NOTAM doit être effectué.

La technique d'arrondi décrite est la suivante : *« A partir d'un passage au seuil à 50 pieds, l'arrondi consiste à piloter la trajectoire vers une zone d'impact située entre les plots (marques de point cible, situées à environ 300 mètres du seuil de piste) et 300 mètres après les plots. Les marques peintes sur la piste doivent permettre de juger de la position du point d'impact (voir figure ci-après)*



Extrait du manuel d'exploitation

Le freinage à l'aide des freins doit commencer après l'impact du train avant. L'utilisation de la poussée inverse est recommandée pour tous les atterrissages ».

Cette description laisse penser que les marques de point cible sont toujours situées à 300 m du seuil, ce qui peut affecter la conscience de la longueur de piste disponible à l'atterrissage.

Enseignements

Bien que l'équipage ait eu connaissance de la diminution de la longueur de piste disponible, son attention n'a pas été attirée sur la réduction des marges à l'atterrissage. Cette prise de conscience, au sol lors de la préparation du vol ou en vol lors de la préparation de l'arrivée, aurait probablement incité le PF à adapter sa technique d'atterrissage (point de toucher des roues, utilisation des freins).

Habituellement, le balisage par marques d'une extrémité de piste correspond à celui d'un seuil. L'arrêté relatif aux conditions d'homologation et aux procédures d'exploitation des aérodromes (CHEA) définit, entre autres, la nature du balisage pour les seuils de piste décalés temporairement. Par contre, il ne spécifie pas le balisage qui doit être utilisé pour une extrémité de piste déplacée sans marque de seuil. Ici, le marquage utilisé ne correspondait pas à une forme reconnue par les pilotes et ne leur a pas permis d'anticiper qu'ils approchaient de l'extrémité de la piste.

Remarque : une information de distance restante adaptée aux travaux serait un autre moyen possible pour prévenir de l'approche de l'extrémité de piste.

Lorsque des travaux de courte durée réduisent temporairement la longueur d'une piste à moins de 2 400 mètres, la position des marques de point cible n'est plus en accord avec la réglementation et peut induire en erreur.

Sur une piste glissante

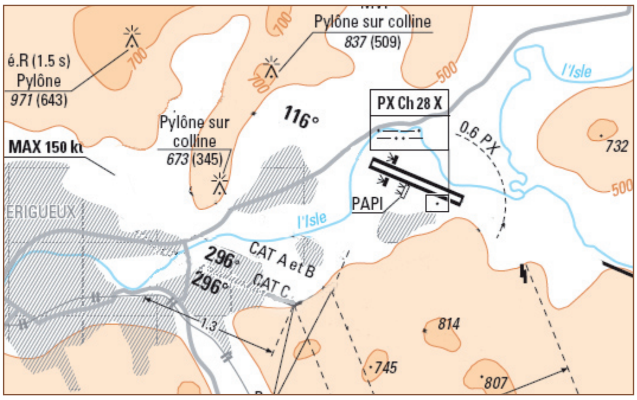
Déroulement du vol

Un Cessna Citation 551 doit effectuer un vol de transport de passagers à la demande entre Genève et Périgueux.

Avant le départ, l'équipage a obtenu les renseignements suivants : piste 30 en service, vent 170°/3 kt, visibilité supérieure à 10 km, BKN 3 000 ft, 11 °C, QNH 1004 hPa.

Sept minutes avant l'atterrissage, il est informé que la piste 30 est en service et que le vent souffle du 120° pour 5 kt. A 4 NM en finale ILS, il est avisé que la piste est mouillée. Au cours du roulement à l'atterrissage, le CdB PF utilise le système de freinage normal mais ne ressent pas de décélération. Pensant à une défaillance du système, il applique le freinage de secours[4] en maintenant la pression sur les freins, puis en relâchant les freins. Le PNF annonce à la radio que le freinage est inefficace alors que l'avion est à trois cents mètres environ de l'extrémité de la piste. L'avion sort longitudinalement de piste, en dérapage à droite, et s'immobilise dans les servitudes.

Le commandant de bord était expérimenté sur ce type d'avion, dont il pratiquait deux variantes : le 560 équipé d'inverseurs de poussée et le 551 qui n'en est pas équipé. Il a envisagé un atterrissage interrompu mais ne l'a pas exécuté, compte tenu de la présence d'obstacles dans la trouée d'envol.



Aérodrome de Périgueux

Renseignements complémentaires

Système de freinage

Le système de freinage normal est hydraulique. L'assistance au freinage (power brake) est associée à un dispositif anti-patinage (anti-skid).

Le système de freinage secours est pneumatique. Une bouteille d'air gonflée au départ à 1 800 PSI envoie une pression égale aux deux freins et inhibe le dispositif anti-patinage.

Le dispositif anti-patinage est prévu pour fonctionner au sol dès que la vitesse est supérieure à 12 kt. Il détecte le dérapage en mesurant la décélération de chacune des roues, réduit la pression de freinage sur la roue qui a une vitesse de glissement non nulle, et la module afin d'avoir le freinage le plus efficace possible. Enfin, il protège contre un différentiel de vitesse entre les roues[5] lorsque celui-ci atteint 50 %.

Procédures

Pour le freinage en normal, le manuel d'utilisation indique :

« Sur piste mouillée, le pilote doit appliquer le freinage maximum. Dès que le système anti-skid anticipe un dérapage et relâche la pression appliquée, toute tentative faite par le pilote pour moduler le freinage peut conduire à l'interruption du signal de freinage et ainsi conduire à un accroissement significatif des distances d'arrêt ».

Pour l'utilisation du frein secours, il préconise de « …maintenir la pression secours jusqu'à l'arrêt complet de l'avion… Ne pas utiliser les deux systèmes simultanément ; dès que les pédales seront enfoncées, les navettes se positionneront de telle façon que la pression pneumatique pénétrera le système hydraulique au risque de rupture en surpression du réservoir ».

Le constructeur recommande de ne pas atterrir sur une piste recouverte d'eau ou de neige avec une composante de vent arrière.

Dans le manuel de l'exploitant, il est également demandé de ne pas relâcher la pression sur les freins avant l'arrêt de l'avion.

Aquaplanage

A l'atterrissage sur une piste mouillée, l'eau normalement expulsée à l'avant et sous le pneu peut former un front d'eau qui progresse sous la roue. A partir d'une certaine vitesse, la hauteur du front d'eau devient supérieure à la profondeur des sillons[6] du pneu, ce qui augmente localement la pression hydrostatique et conduit à la perte de contact du pneu avec le revêtement. Sans anti-patinage, une action sur les freins bloque la roue.

Mesures de glissance

Des travaux avaient été réalisés sur le revêtement de la piste sept ans plus tôt sans mesure de glissance.

Après l'événement, on a observé que de l'eau stagnait sur la piste[7], des flaques d'eau faisant l'effet d'un miroir.

Des mesures de glissance ont été réalisées après l'événement. Elles ont montré un niveau d'adhérence insuffisant dû aux caractéristiques intrinsèques de la couche de roulement qui ne permettait pas un drainage efficace de l'eau et était susceptible de provoquer le phénomène d'aquaplanage. Ce défaut était amplifié par les caractéristiques géométriques de la piste qui ralentissent l'évacuation des eaux de pluie.

[4] Le freinage de secours est actionné par un levier de commande situé sur le tableau de bord en place gauche.

[5] Lorsque la vitesse des roues est supérieure à 40 kt.

[6] Une hauteur d'eau inférieure à 3 mm peut suffire à provoquer ce phénomène lorsque :
- les sillons du pneu sont peu profonds,
- le revêtement de la piste est plus ou moins poreux, bombé ou recouvert de trace de gomme,
- le vent crée des accumulations d'eau.

[7] La quantité de précipitations relevée dans une période de six heures incluant l'événement était de 2,3 mm.

Caractéristiques de la piste
La piste de l'aérodrome de Périgueux a une longueur de 1 750 m. En piste 30, la présence d'un seuil décalé réduit la LDA à 1 620 m. Les plots sont situés à 300 m du seuil décalé. La piste est descendante, avec une pente proche de 1 %.
Compte tenu des critères de l'OPS1, la longueur d'arrêt maximale à prendre en compte était de 972 m sur piste sèche et de 845 m sur piste mouillée.

Performances de l'avion à l'atterrissage
La distance d'atterrissage fournie par le constructeur pour une piste sèche est de 705 m[8].

[8] Le constructeur prend en compte un toucher des roues à 840 ft (soit 256 mètres) du seuil.

Enseignements
En présence d'un dispositif anti-patinage, lors du roulement à l'atterrissage sur piste mouillée, la pression appliquée par le pilote sur le système de freinage doit être maximale et continue. Le fonctionnement normal de l'anti-patinage peut donner la sensation d'un freinage inefficace. Le PF, qui n'avait jamais été confronté au phénomène d'aquaplanage, a cru à une défaillance du système de freinage et utilisé le système de secours. Cette action a empêché le fonctionnement de l'anti-patinage.
Les caractéristiques d'une piste, en particulier la glissance, évoluent au cours du temps. Un suivi périodique de ces caractéristiques devrait permettre de s'assurer notamment que

Aspect réglementaire du calcul des distances d'atterrissages
(1) OPS1 : 0,6*LDA/1,15 doit être supérieure à la longueur théorique d'arrêt.
(2) Calculée dans les conditions de l'OPS 1.515 avec les performances certifiées du contructeur.



Valeurs issues des données du constructeur
(3) Valeur indicative à disposition de l'équipage dans la documentation réduite de l'exploitant.
(4) Calcul piste recouverte par plus de 0,25 mm d'eau, basé sur la même documentation.
(5) Majorations en cas de panne de l'antipatinage.

La documentation à bord donne des coefficients à appliquer aux distances d'atterrissage, soit 1,45 pour une piste mouillée avec moins de 0,25 mm d'eau et 2,05 si la hauteur d'eau est comprise entre 0,25 et 10 mm. Le manuel d'utilisation du constructeur indique que la distance d'atterrissage doit être multipliée par 1,02 si la piste descend de 1 % et majorée de 60 % si le dispositif anti-patinage ne fonctionne pas.
Ainsi, la distance d'atterrissage calculée est de 1 042 m si la hauteur d'eau est inférieure à 0,25 mm et de 1 474 m si la hauteur d'eau est comprise entre 0,25 et 10 mm, lorsque le dispositif anti-patinage fonctionne.

l'adhérence est suffisante.
Les performances de certification piste mouillée et contaminée, qui apparaissent dans la documentation du constructeur, sont données en fonction de hauteurs d'eau. L'utilisation pratique de ces données est problématique car l'on ne sait pas mesurer une hauteur d'eau de manière opérationnelle.

Remarque : dans le cadre de cette enquête, le BEA a attiré l'attention de l'administration sur la glissance de la piste de Périgueux. Des mesures correctives ont été prises en conséquence.

En 08 droite à Paris - Charles de Gaulle (CDG)

Premier cas B747-300

Déroulement du vol
L'équipage, composé d'un CdB, d'un OPL et d'un OMN, effectue un vol long courrier de nuit à destination de Paris - Charles de Gaulle. Tous trois sont expérimentés et habitués à fréquenter l'aérodrome.

Préparation de l'arrivée
L'équipage écoute l'ATIS avant la descente. Il est indiqué que les approches ILS sur les pistes 09 R et 08 R sont en vigueur et que la piste 08 R est fermée. L'équipage prépare une approche pour la piste 09 R. L'OPL PF utilise le PA B et l'automanette.

Déroulement de l'approche
A environ vingt minutes de l'atterrissage, alors que l'avion est stable au FL140, le contrôleur d'approche autorise l'équipage à procéder sur OMAKO puis LARPO, en vue d'une approche standard ILS 08 R.
Cinq NM avant LARPO (point de passage en

vent arrière), l'avion est pris en guidage radar jusqu'à l'interception de l'ILS à 4 000 ft. Durant l'interception, l'équipage commande la sortie des volets vers 20°, sort le train d'atterrissage et sélectionne le freinage automatique sur MINIMUM.

Finale et atterrissage

L'équipage, en passant 3 300 ft, établi sur l'ILS, est autorisé à atterrir et reçoit une information de vent calme. Les deux PA sont mis en mode LAND et l'automanette en mode SPEED. La vitesse maintenue pendant l'approche finale est d'environ 150 kt pour une vitesse d'approche théorique de 135 kt[9].

L'avion passe la hauteur de 1 000 ft, stabilisé selon les critères de l'exploitant.

Le PF déconnecte les PA en vue de la piste, vers 400 ft. Immédiatement après, on note une augmentation de l'angle d'assiette de 3° et de la poussée de 0,03 point d'EPR[10]. La poursuite de la descente s'effectue au-dessus du plan nominal, parallèlement à celui-ci.

L'avion survole le seuil de piste 08 R à une hauteur comprise entre 150 et 180 ft avec une vitesse de 154 kt, soit 19 kt au-dessus de la vitesse d'approche théorique.

L'atterrissage a lieu à une vitesse de 148 kt. Les destructeurs de portance se déploient automatiquement. L'équipage n'active pas les inverseurs de poussée mais freine en surpassant le système de freinage automatique.

L'avion sort de piste et s'immobilise dans l'herbe à environ 30 mètres de l'extrémité de la piste.

Renseignements complémentaires

ATIS/NOTAM

Un NOTAM annonçait la fermeture de la piste 08 R quelques heures après l'heure prévue de l'atterrissage. L'ATIS écouté par l'équipage mentionnant la fermeture de la piste avait été enregistré dix minutes avant sa réouverture et n'a été actualisé que quarante minutes plus tard.

Utilisation des pistes à CDG

Les procédures de l'aérodrome prévoient l'utilisation préférentielle des pistes extérieures (08 R et 09 L) - longues de 2 700 mètres - pour les atterrissages et des pistes intérieures - d'environ 4 200 mètres - pour les décollages. En tenant compte de l'ATIS, l'équipage a préparé une arrivée pour la piste 09 R, plus longue que la piste sur laquelle il a atterri. La réglementation de la circulation aérienne indique que le CdB peut demander à utiliser une autre piste ; cette clairance n'est accordée, sauf cas d'urgence, que si elle est compatible avec l'état de la circulation aérienne. En cas de changement de piste, il est nécessaire d'effectuer un nouveau briefing arrivée incluant les caractéristiques du nouveau QFU. Certaines de ces caractéristiques n'apparaissent pas dans la documentation à la disposition des pilotes, notamment le profil de la piste[11] et la position des points cible.

Caractéristiques de la piste 08 R

La piste 08 R a une longueur de 2 700 mètres et une largeur de 60 mètres. L'altitude maximale de la piste (103 mètres) se situe à 480 mètres du seuil de piste 08 R, soit 30 mètres après le PAPI et les marques de point cible (à 450 mètres du seuil). A partir de ce point, la piste descend jusqu'au seuil opposé, avec une pente moyenne de - 0,3 %.

Freinage automatique

Les consignes de l'exploitant requièrent l'utilisation du freinage automatique sur MEDIUM lorsque la longueur de piste disponible au-delà du glide est inférieure à 9 000 ft (environ 2 750 m). L'équipage, compte tenu de la piste initialement prévue, avait sélectionné le freinage automatique sur MINIMUM.

Performances à l'atterrissage

La distance d'atterrissage théorique fournie par le constructeur était de 1 135 m. Cette distance a été calculée avec les hypothèses suivantes :

- passage du seuil à 50 ft à Vref ;
- arrondi de 45 m ;
- toucher des roues à 350 m du seuil à Vref.

Les conditions environnementales et opérationnelles modifient cette distance de la façon suivante[12] :

	Corrections annoncées par le constructeur	Conditions du jour	Majoration de la distance
Majoration de 5 kt/Vref par vent de face inférieur à 10 kt	100 m par 10 kt	5 kt	50 m
Ecart des plots par rapport à 305 m		450 m	145 m
Effet du vent arrière sur la distance de roulement (13)	135 m par 10 kt	10 kt	135 m
Effet de la pente sur le freinage (13)	6 m pour - 0,3 %	- 0,3 %	6 m

Les variables de pilotage modifient également cette distance :

	Corrections annoncées par le constructeur	Conditions du jour	Majoration de la distance
Vitesse au seuil par rapport à Vref	100 m par 10 kt	24 kt dont 5 déjà pris en compte ci-dessus soit 19 kt	190 m
Ecart par rapport à 50 ft au seuil		≈ 115ft	690 m
Perte de vitesse entre le début d'arrondi et le toucher des roues	60 m pour 1 kt	6 kt	360 m

Remarque : l'utilisation des inverseurs de poussée aurait, selon le constructeur, réduit la distance de freinage d'environ 90 mètres.

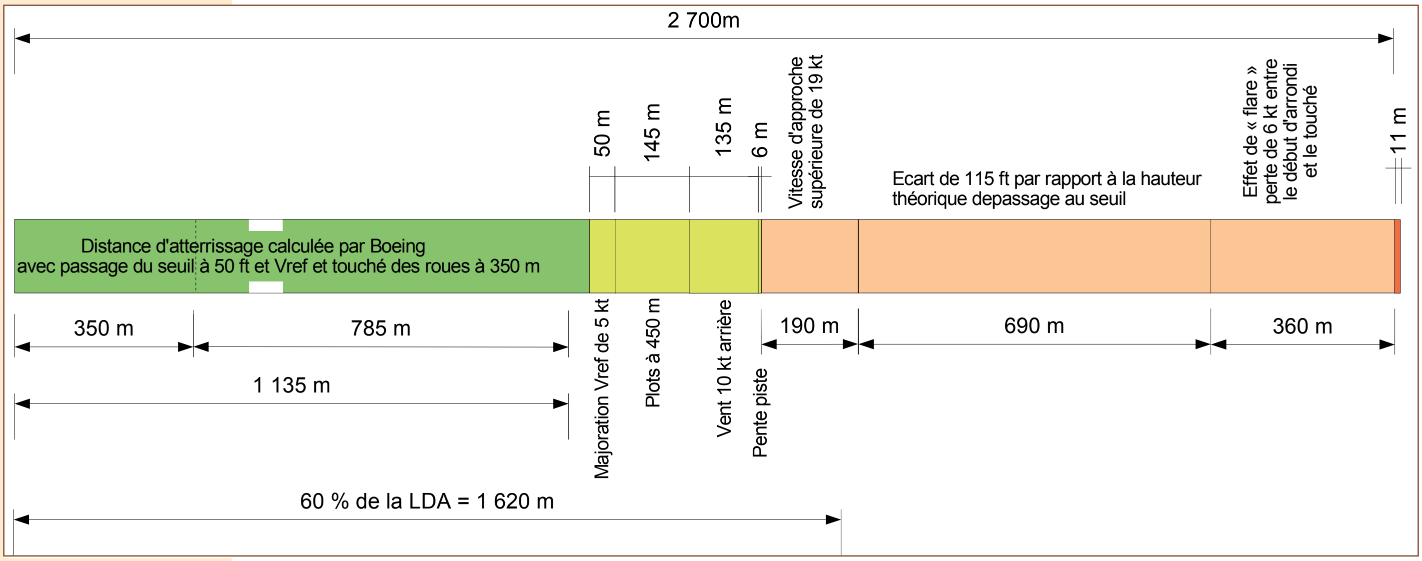
(9) Vref volets 30° + 5 kt compte tenu du vent. L'exploitant prévoit une annonce technique en cas d'écart supérieur à 20 kt par rapport à Vref.

(10) Le construteur attribue l'augmentation d'assiette à l'augmentation de poussée.

(11) Certains exploitants indiquent sur la feuille d'approche la pente moyenne de la piste lorsqu'elle dépasse une certaine valeur.

(12) Le constructeur ne prévoit pas de pénalisation en cas de piste humide. De l'humidité, associée notamment à la présence de gomme, affecte notablement le freinage.

(13) Les effets du vent arrière et de la pente descendante sur l'arrondi ne sont pas pris en compte.



Tenue de vitesse en finale

La vitesse sélectionnée en mode SPEED est indiquée sur les anémomètres par un curseur. L'équipage a dit avoir tenu une vitesse égale à Vref + 5 kt. Il n'a pas été possible de déterminer si la vitesse stable autour de 150 kt observée durant l'approche finale est due à une imprécision de l'automanette ou à un oubli de l'équipage. La check-list avant atterrissage ne comprend pas d'item de vérification de la position de ce curseur.

Informations de vent

L'Annexe 3 (OACI) précise que le mot « calme » devrait être utilisé pour indiquer une vitesse du vent inférieure à 1 kt. Le manuel d'exploitation du contrôle à CDG ne donne aucune consigne pour l'utilisation de cette expression mais un module d'instruction définit un vent calme comme d'intensité inférieure ou égale à 5 kt.

Le vent indiqué aux pilotes au cours de l'approche finale est un vent moyenné sur deux minutes. Le contrôleur transmet les variations de vitesse du vent uniquement lorsque l'écart par rapport au vent moyenné est supérieur à 10 kt. Ainsi, un vent arrière de 14 kt pourrait être annoncé comme un « vent calme ».

Les conditions du jour étaient proches de cette situation. En effet, le vent moyen enregistré dans les cinq minutes précédant l'atterrissage variait entre 180° et 230° pour une intensité inférieure ou égale à 4 kt. La rafale maximale enregistrée pendant la même période était de 260°/ 10 kt.

Enseignements

Les exploitants imposent généralement la stabilisation des approches à partir d'une hauteur plancher, en général entre 1 000 ft et 500 ft.

Si certains prévoient une annonce de stabilisation ou de remise de gaz au franchissement du plancher, les critères de déstabilisation au-dessous de celui-ci et les consignes associées sont rarement explicités. L'exploitant avait prévu des annonces d'écarts entre 1 000 ft et l'atterrissage, sans critère de déstabilisation devant entraîner une remise de gaz ou un atterrissage interrompu au-dessous du plancher de stabilisation.

Les performances à l'atterrissage sont des données théoriques. Le cumul de facteurs environnementaux défavorables et d'imprécisions de pilotage peuvent conduire dans certains cas à dépasser les marges qui couvrent ces variables.

Deuxième cas B737- 800

L'équipage décolle de nuit pour un vol régulier à destination de CDG, qu'il a l'habitude de fréquenter. L'arrivée est prévue de jour après deux heures de vol. L'OPL est PF.

Préparation du vol

Le TAF de CDG prévoit à l'heure d'arrivée un vent du 160°/12 kt, CAVOK évoluant vers SCT 2 000 ft SCT 6 000 ft BKN 10 000 ft.

La carte de prévision des vents au FL50 indique dans la zone d'arrivée un vent du 200°/30 kt.

Arrivée et atterrissage

Environ une heure avant l'atterrissage, l'équipage reçoit par ACARS le dernier ATIS, enregistré 57 minutes plus tôt, proche du TAF mais qui mentionne un givrage modéré rapporté à 14 000 ft, et donne les pistes 09 L et 08 R à l'atterrissage. Lors du briefing, l'équipage prépare une arrivée en 08 R, « comme d'habitude ».

En provenance du sud-ouest, il est transféré sur la fréquence d'approche avec une vitesse de 220 kt, soit 250 kt de vitesse sol. Le contrôleur lui demande de prendre le cap 060°[14] et d'intercepter le localizer 08 R, puis l'autorise à descendre vers le FL60 puis vers le FL50. L'avion s'établit au PA sur le LOC en mode VOR/LOC à environ 20 NM DME de l'ILS (indicatif DSE). L'automanette est en mode SPEED.

Moins de quatre minutes avant l'atterrissage, à 12,5 NM de DSE[15], l'avion est au FL50, 750 ft au-dessus du plan du glide. Le contrôleur

[14] Ce cap raccourcit la distance au seuil.

[15] Le FAP est à 4 000 ft à 11,2 NM de DSE.

autorise l'équipage à descendre vers « 3 000 ft, 1018 hPa » puis « le glide ».
La descente débute en mode V/S, avec des vitesses verticales comprises entre - 1 200 ft/min et - 1 400 ft/min. Le PF a affiché le mode MAP sur son écran de navigation où figure la trajectoire d'approche 08 R avec un point de descente à 4 000 ft. A 4 300 ft, le contrôleur transfère l'équipage sur la fréquence tour en lui demandant une vitesse de 180 kt qu'il sélectionne. Sa vitesse sol est toujours de 250 kt. Il est autorisé à atterrir avec un vent du 160°/6 kt.
En approchant 3 000 ft, l'avion est toujours au-dessus du plan à une vitesse indiquée de 191 kt (vitesse sol 212 kt). L'équipage continue la descente en mode V/S avec une vitesse verticale sélectionnée de - 1 600 ft/min.
L'avion est en configuration atterrissage volets 30° à environ 2 200 ft, à une vitesse indiquée de 171 kt (vitesse sol 188 kt). L'écart glide commence à diminuer.
Moins d'une minute avant l'atterrissage, approchant 1 400 ft, le mode d'acquisition d'altitude s'active et la poussée, jusque-là au ralenti, augmente. L'équipage affiche 500 ft à l'altitude select. La vitesse indiquée est alors de 156 kt (vitesse sol 171 kt). Un écart entre les distances des DME gauche et droit (tous deux sur DSE) commence à apparaître(16).
L'équipage indique avoir été en vue de la piste vers 1 000 ft.
Environ 30 secondes avant l'atterrissage, l'avion, toujours au-dessus du glide, traverse un lobe secondaire, ce qui génère deux alarmes GPWS de type GLIDE SLOPE.
Le pilote automatique est déconnecté et l'automanette conservée. Peu avant l'annonce « 500 » du GPWS, on note une brève augmentation de la poussée.
L'équipage indique avoir été surpris quelques secondes par la présence de nuages bas dont la base était à environ 300 ft.
Plusieurs alarmes PULL UP et SINK RATE sont émises dans les seize secondes précédant le toucher des roues alors que l'assiette augmente de - 5,4° vers des valeurs positives.

L'atterrissage s'effectue à Vapp + 7 kt, avec 4 kt de vent arrière et une accélération verticale de 2,19 g. Les spoilers sortent et le freinage automatique débute. Les inverseurs de poussée sont sélectionnés. Environ quatre secondes après le toucher des roues, le commandant de bord, ayant une sensation de freinage médiocre, applique un freinage manuel maximal. Huit secondes après le toucher des roues, la vitesse est de 109 kt et la poussée inverse atteint 81 %. L'avion sort de piste à faible vitesse et s'immobilise, embourbé, à une vingtaine de mètres de la piste.

Renseignements complémentaires

Météorologie
Un jet de basse couche était engendré dans le secteur chaud à l'avant d'un front froid, se déplaçant vers l'est/nord-est, par les gradients de température et d'humidité des différentes masses d'air. Une inversion de température était prévue entre 500 mètres et le sol. La prévision a sous-estimé la vitesse de déplacement du front froid.
Les vents enregistrés pendant l'approche étaient :
- au FL 50, 210° / 42 kt
- à 1 000 ft, 202° à 212° / 26 à 31 kt.

Au cours des deux minutes précédant l'atterrissage, les vents enregistrés par le capteur au seuil 08 L - le plus proche de la 08 R - étaient les suivants :
- vent moyenné sur deux minutes : 170°/ 6 kt
- vent maxi : 240° / 12 kt.

Les conditions étaient propices à un gradient de vent favorable en dessous de 1 000 ft (diminution du vent arrière). L'équipage, qui avait noté une composante de vent arrière importante en approche initiale, n'a pas constaté ni pris en compte cette composante dans sa gestion de l'approche finale. Il attribue cette inattention à la surcharge de travail occasionnée par le rattrapage du plan en mode V/S.
Les METAR successifs(17) pendant les deux heures avant l'atterrissage faisaient apparaître une dégradation continue du plafond, jusqu'à 300 ft trente minutes avant l'atterrissage, alors que chacun se terminait par la mention NOSIG.
L'enregistrement de l'ATIS doit être renouvelé toutes les heures ou pour toute variation significative des paramètres(18). Le dernier ATIS enregistré faisait état d'un plafond à 500 ft.

Supervision ATC
A CDG, le choix de la piste à l'atterrissage s'effectue essentiellement en fonction du vent au sol.
Le manuel d'exploitation du contrôle à CDG fournit les vitesses maximales en fonction des distances au seuil en approches simultanées hors LVP :

Distance au seuil	Vitesse indiquée
15 à 12 NM	220 kt
12 à 9 NM	200 kt
9 à 6 NM	180 kt
Inférieur à 6 NM	160 kt

Ces vitesses ne sont pas modifiées en cas de vent arrière en finale.

Procédure ILS 08 R
La carte d'approche indique trois altitudes possibles d'interception du plan : à 4 000 ft pour une approche standard et à 3 000 ou

(16) La distance du DME droit est supérieure à celle du DME gauche pendant 17 secondes : 1,25 NM, 48 s avant de toucher ; 1,5 NM, 43 s avant le toucher ; 1,75 NM, 38 s avant le toucher.

(17) L'émission des METAR à CDG a lieu toutes les trente minutes.

(18) Vent 30° ou 5 kt, visibilité (franchissement des valeurs : 8 km, 5 km, 3 km, 2 km, 1 500 m, RVR en dessous), nuages : BKN ou OVC (franchissement des valeurs : 1 500 ft, 500 ft, 200 ft), température (1 °C), pressions (1hPa), temps présent et épaisseur du contaminant (2 cm de neige sèche, 1 cm de neige humide, 3 mm de neige fondante).

2 000 ft pour certains guidages radar. Le profil ne fait apparaître que le FAP à 4 000 ft. Les deux autres altitudes figurent en note et cette information peut être difficile à trouver sur la carte. Dans le FMS, l'approche ILS 08 R ne prévoit que l'interception du plan à 4 000 ft. Les pilotes ont indiqué que toutes les approches qu'ils avaient effectuées à CDG comportaient une interception à 4 000 ft.

Consignes de l'exploitant pour l'approche

Lorsque l'interception du plan s'effectue à une distance de la piste inférieure à 12 NM, les volets 5° sont recommandés à la vitesse de manœuvre correspondante[19]. Il est par ailleurs indiqué de respecter les vitesses demandées par l'ATC qui peuvent être supérieures.

Le plancher de stabilisation est défini à 1 000 ft en IMC et 500 ft en VMC[20].

Pour une approche ILS, le mode normal est le mode approche ; son armement est conditionné par l'autorisation ILS du contrôle. Le FCOM recommande l'utilisation du pilote automatique jusqu'à l'établissement de références visuelles convenables.

Documentation du constructeur

Le FCTM Boeing ne recommande pas l'usage de l'automanette lors d'une approche en pilotage manuel.

Le descriptif du GPWS indique que l'annonce GLIDE SLOPE associée aux voyants BELOW GLIDE SLOPE correspond à une déviation excessive sous le glide. Il n'est pas mentionné que le système est sensible aux faisceaux de lobes secondaires du glide et qu'il peut générer alors une alarme même si l'avion est largement au-dessus du plan.

Performances d'atterrissage

L'usage des volets 30° est recommandé pour un meilleur contrôle de l'avion, une consommation et un niveau de bruit inférieurs, et en cas de gradient de vent potentiel. Sur des pistes dont la longueur disponible à l'atterrissage est inférieure ou égale à 2 000 mètres, la configuration volets 40° est recommandée. L'analyse effectuée par Boeing montre que les performances d'arrêt correspondent à celles d'un atterrissage sur piste mouillée. Les mesures de coefficient de frottement effectuées sur la piste sont dans les normes mais ne concernent pas les extrémités de pistes[21].

Conduite de l'approche finale

L'équipage ne se souvient pas des diverses alarmes GPWS entendues hormis un SINK RATE en vue du sol. Il n'a pas perçu l'aggravation de la déviation au-dessus du plan à la rencontre du gradient de vent favorable, à vitesse air constante.

Le CdB a repris les commandes en courte finale afin d'effectuer un atterrissage ferme. Il pense que le toucher des roues s'est produit à la fin du premier tiers de la piste, à 150 kt.

Il n'avait jamais fait de remise de gaz en ligne.

Enseignements

La fourniture de toute variation d'un paramètre significatif permet aux équipages de prendre des décisions adaptées. L'annonce de la dégradation du plafond, de la variabilité du vent et du fort vent arrière en finale aurait pu permettre une anticipation des conditions rencontrées.

En guidage radar, certaines combinaisons de contraintes de vitesse et d'altitude peuvent s'avérer incompatibles avec les performances des avions. Si un équipage doit réaliser un rattrapage de plan, il lui sera difficile de stabiliser l'approche en maintenant une vitesse élevée, surtout en présence de vent arrière.

Troisième cas – MD11

Une autre sortie de piste en 08 R à CDG, survenue cinq ans plus tôt, présente des points communs avec les deux cas précédents. Un équipage anglophone d'un MD11 qui avait initialement prévu une approche en 09 R, n'avait pas reçu d'information relative à une forte composante de vent arrière jusqu'en courte finale et à la piste glissante. Ces conditions avaient été annoncées en français par le pilote de l'avion précédent et par le contrôleur. L'avion s'était immobilisé sur le prolongement d'arrêt qui existait à cette époque.

[19] Dans ce cas, Vref volets 40° +30 kt = 166 kt.

[20] L'équipage de conduite d'un autre avion a effectué peu avant une remise de gaz à 500 ft pour non stabilisation, consécutive à une interception du glide à 2 000 ft et 220 kt sur demande du contrôle.

[21] La méthode de mesure est contrainte notamment par l'accélération et la décélération du véhicule aux extrémités de la piste.

Calcul des performances à l'atterrissage

Selon l'OPS1, le calcul des performances à l'atterrissage des avions à réaction doit démontrer que l'arrêt complet de l'avion s'effectue sur moins de 60 % de la LDA pour une piste sèche. Une pénalisation de 15 % s'ajoute en cas de piste mouillée. Une pénalisation supplémentaire peut s'appliquer en cas de piste contaminée. Ces marges réglementaires ont été définies pour prendre en compte un ensemble de variables et il n'y a pas de correspondance exacte avec les réalités opérationnelles.

La conscience de la réduction des marges par les pilotes peut être affectée par des changements tardifs et un manque d'information :

- Les limitations opérationnelles, souvent présentées en masses ne permettent pas de visualiser ces marges.
- La documentation de bord, en particulier le QRH, fournit des distances d'atterrissage sans marges.
- Un vent arrière en cours d'approche et à l'atterrissage n'est pas toujours annoncé.
- La distance entre le seuil et les points cible est souvent méconnue des pilotes et des exploitants.
- A CDG en particulier, les pistes normalement dédiées à l'atterrissage sont les plus courtes (2 700m).

Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durables
Bureau d'Enquêtes et d'Analyses (BEA) pour la sécurité de l'aviation civile
Directeur de la publication : Paul-Louis Arslanian
Responsable de la rédaction : Pierre Jouniaux - incidents@bea-fr.org
Conception-réalisation : division information et communication